

La calidad del aire en La Habana. Actualidad

Havana air quality. Present

Oswaldo Cuesta-Santos ^{1*}, Yosdany González-Jaime ¹, Carlos Sosa-Pérez ¹, Rosemary López-Lee ¹, Javier Bolufé-Torres ¹, Francisco Reyes-Hernández ²



<http://opn.to/a/DeLJz>

¹Instituto de Meteorología, Cuba

²Instituto de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Cuba

RESUMEN: Las emisiones de los contaminantes principales por las fuentes fijas en La Habana y su dispersión provocan el deterioro de la calidad del aire, por lo tanto su estudio es necesario y urgente, si se tiene en cuenta que esta ciudad presenta la mayor población del país y fuentes contaminantes de consideración. Se identificaron las fuentes fijas principales y se realizaron los inventarios de emisiones en los 15 municipios, lo cual es una herramienta efectiva en la gestión ambiental. Se modelaron a nivel local la dispersión de estos contaminantes y se identificaron las localidades más afectadas según los contaminantes principales. Los resultados obtenidos son de gran utilidad para las autoridades ambientales en sus tareas de regulación y de interés para las actividades de ordenamiento territorial.

Palabras Clave: inventario de emisiones, modelos de dispersión, calidad del aire.

ABSTRACT: The determination quantitative of air pollutant emission and dispersion in the atmosphere from main stationary sources in Havana and its effects on atmospheric chemistry, is an urgent and necessary study, taking into the account that mentioned city have the most population of country and a number considerable of emission sources. This paper shows the atmospheric emission inventory from stationary sources operating in Havana. The main stationary sources were identified and emission inventories were made in the 15 municipalities. The knowledge of these emissions is a useful tool for air quality management in the air pollution control and so thus mitigates its negative effects on environment. The dispersion of these pollutants was modeled at the local level and the most affected localities were identified according to the main pollutants. The results obtained are very useful for environmental authorities in their regulation tasks and of interest for territorial planning activities.

Keywords: Emission inventory, air pollution sources, air quality management.

INTRODUCCIÓN

La solución a los actuales problemas ambientales constituye un paso fundamental para el desarrollo de la vida con sentido de sostenibilidad. La satisfacción de tal aspiración es condicionada en buena medida por la preservación de una atmósfera limpia dada la incidencia de este medio en la

dinámica de la biosfera, resultando premisa indispensable el conocimiento de los mecanismos de incorporación de contaminantes al aire, sus respectivos tiempos de vida atmosférica, reacciones de combinación y vías de remoción entre otros aspectos, considerando que los enfoques del problema varían en dependencia del contexto espacial y temporal involucrado.

*Autor para correspondencia: *Oswaldo Cuesta-Santos*. E-mail: osvaldo.cuesta@insmet.cu

Recibido: 12/06/2019

Aceptado: 08/08/2019

Los estudios relacionados con la contaminación atmosférica presentan tres niveles atendiendo a su escala espacial y temporal. El nivel global que responde a la escala planetaria con efectos temporales de prolongada manifestación como las emisiones de gases de efecto invernadero y el recalentamiento global. El nivel regional que responde a las características continentales o de grandes zonas rurales y marinas con manifestaciones de efectos temporales de semanas y meses como los procesos de acidificación de la atmósfera, que modifican las características de los ecosistemas, específicamente los suelos y las aguas de uso agrícola. Y por último el nivel local relacionado con asentamientos urbanos o industriales con efectos inmediatos de la contaminación atmosférica (deterioro de la calidad del aire) sobre la salud humana o los ecosistemas.

Existen sobradas evidencias que muestran la incidencia negativa de una deficiente calidad del aire en ciudades y zonas industriales en la salud humana y los ecosistemas. La contaminación atmosférica incide y agrava procesos asociados a enfermedades respiratorias, vasculares y a diversos tipos de cáncer ([Molina, E., et al., 2001](#); [Romero, M., et al., 2004](#) y [Suarez, S., et al., 2010](#)).

Entre las causas fundamentales que generan los problemas de contaminación atmosférica en Cuba tenemos: errores de planificación territorial; uso de tecnologías obsoletas en industrias y el transporte; no existencia de tratamientos en las emisiones a la atmósfera; la deficiente educación ambiental e información a la comunidad ([Cuesta, O., et al., 2014](#) y [Cuesta, O., et al., 2015](#)).

La necesidad de un sistema competente que permita vigilar la contaminación atmosférica y dar recomendaciones y soluciones en beneficio de la salud y el ambiente es abordado por el Ministerio de Salud Pública (MINSAP), el cual creó una red urbana para el control de la calidad del aire que funcionó adecuadamente hasta la década de 1980 y actualmente tiene una sola estación, y por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), que opera una red de vigilancia regional y local, muy deprimida, que controla las propiedades químicas de la lluvia,

aerosoles y gases principales. El Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental bajo la dirección del CITMA, incluye al Sistema Nacional de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica (SINVCA), integrado por las dos redes anteriores. También contempla el monitoreo empresarial.

Los estudios cualitativos y cuantitativos de la contaminación atmosférica en las ciudades cubanas reflejan que Mariel, Nuevitas, Moa, La Habana, Santiago de Cuba, Cienfuegos y Matanzas presentan un nivel de calidad del aire clasificado como crítico o pésimo. Mientras que con malo y deficiente encontramos 5 y 11 ciudades respectivamente ([Figura 1](#)); el resto posee calidad de aire buena y aceptable ([PNUMA, 2004](#) y [2009](#); [Cuesta et al., 2014](#)).

La evaluación para La Habana se realizó durante el 2004, 2009 y 2014 presentándose la evolución de la contaminación atmosférica antes, durante y después de la introducción de los grupos electrógenos en algunos de sus municipios, lo cual provocó el aumento de los principales gases contaminantes.

La Habana se clasificó utilizando seis niveles que se aprecian en la [Figura 2](#), el primer mapa muestra la situación antes del 2004, el segundo la situación con la entrada en funcionamiento de los cinco grupos electrógenos (2009), con sus respectivas ubicaciones y en el último se aprecia una ligera mejora con la salida del grupo electrógeno de Naranjito (2014).

Existen diversos datos cuantitativos provenientes del monitoreo realizado a través de proyectos y estudios de gestión de la contaminación atmosférica realizados a lo largo y ancho de Cuba que muestran algunos resultados ([Cuesta, O. et al., 2002](#); [Wallo y Cuesta, 2005](#); [Cuesta, O. et al., 2014](#)).

De los estudios cualitativos y cuantitativos de la calidad del aire en Cuba se conoce que el 21% de la población de la capital posee calidad de aire entre crítica y pésima, mientras que el 8% de la población del resto del país presenta esta categoría. Casi el 30% de los capitalinos respiran aire de calidad deficiente y mala; por otro lado en otras ciudades solo el 16% de la población poseen estas categorías, esto se aprecia en la [Tabla 1](#). Es

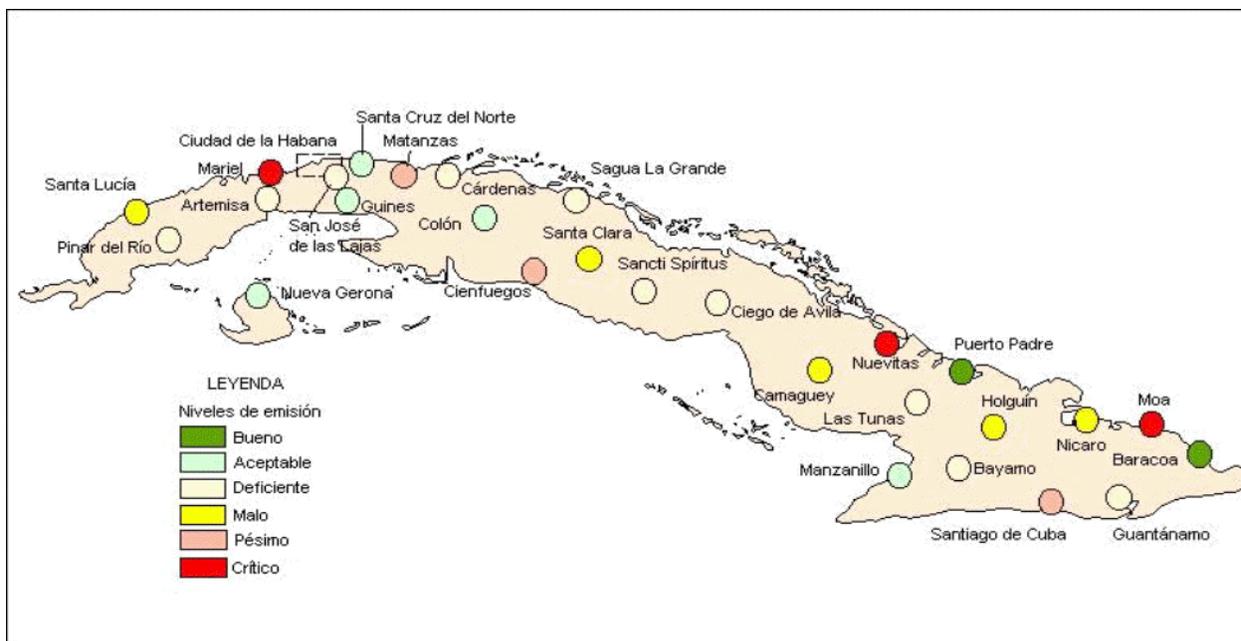


Figura 1. Nivel de calidad del aire de algunas ciudades de Cuba

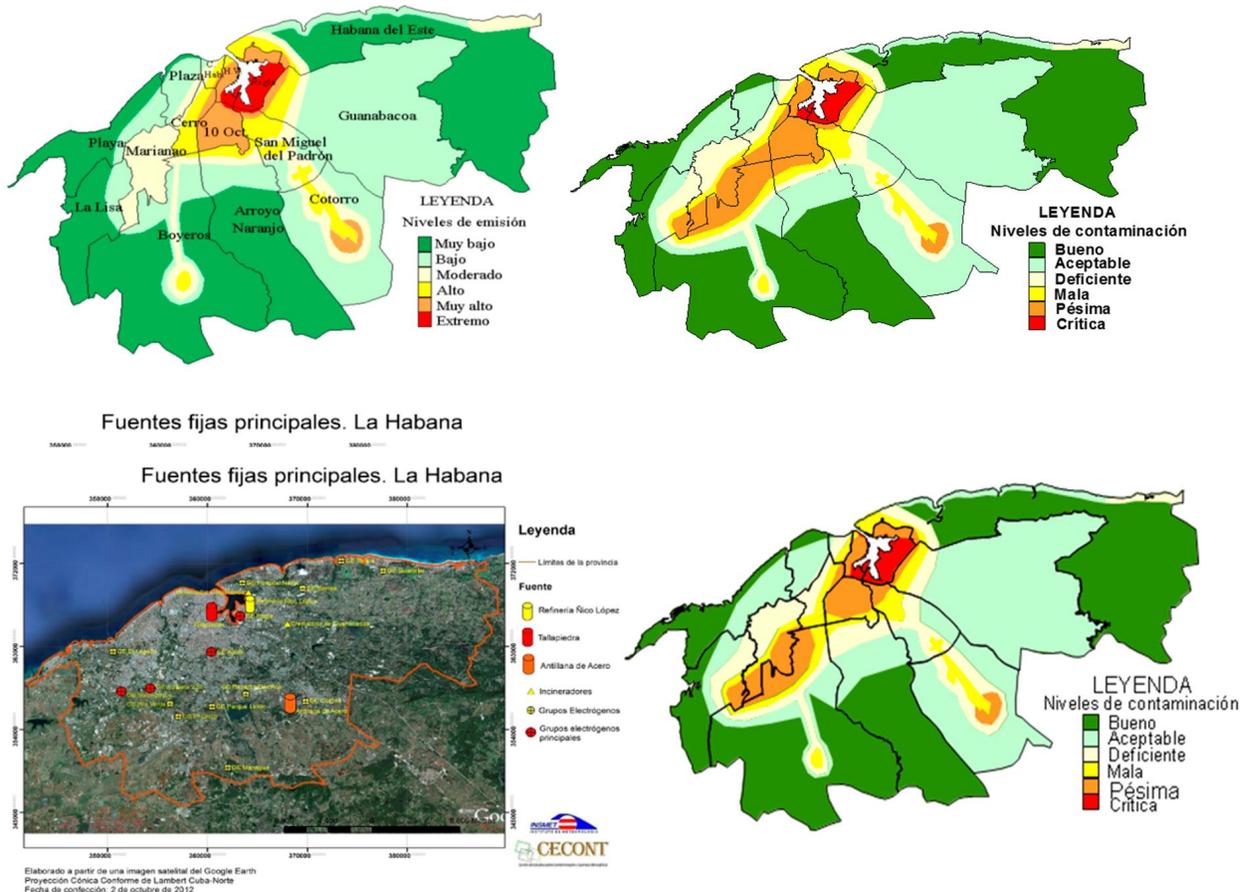


Figura 2. Evolución de la calidad del aire en La Habana y fuentes principales de contaminantes atmosféricos

Tabla 1. Población urbana expuesta según clasificación del índice cualitativo de calidad del aire

Nivel de exposición	Calidad del Aire (Método Cualitativo)	Población urbana de Cuba (Miles de Habitantes)	La Habana (Miles de Habitantes)	Observaciones
Bajo	Bueno y Aceptable	4 831,2 (76%)	1050,9 (49%)	
Medio	Deficiente y Malo	1 023,0 (16%)	626,0 (29%)	Se consideró el 50% de la población
Alto	Pésimo y Critico	478,0 (8%)	465,0 (22%)	Se consideró el 50% de la población
		6 332,2 *	2 141,9	

Nota: * Sin La Habana

necesario aplicar planes locales para mejorar las condiciones de vida de esta población ([Cuesta, O., et al., 2018](#)).

Los asentamientos urbanos clasificados en el nivel crítico deben profundizar en sus estudios sobre calidad del aire y emprender rápidamente planes de descontaminación de su atmósfera. Entre los que se encuentran una parte importante de La Habana, el Mariel, Moa y Nuevititas. Otras ciudades en los niveles de calidad del aire catalogados como malos y pésimos requieren de estudios integrales de la calidad del aire.

El conocimiento de la calidad del aire en una zona determinada es un dato imprescindible para el diseño de la protección de los seres vivos y de su hábitat. Conocer con qué fuentes, con qué sustancias y en qué medida se contamina una región es un estudio de suma importancia en la actualidad, donde cada vez más la actividad humana influye en el cambio negativo de su entorno y donde se impone una labor pensada y planificada para su posible mitigación. La determinación cuantitativa de las emisiones de contaminantes y su dispersión en la atmósfera provocada por las principales fuentes fijas en La Habana y sus efectos potenciales en el medio ambiente, es un estudio necesario y urgente, si se tiene en cuenta que la mencionada ciudad presenta la mayor población del país y muchas fuentes contaminantes de consideración. El conocimiento de estas emisiones son una valiosa herramienta de gestión ambiental para el control y mitigación de la contaminación atmosférica, actualizado hasta el año base 2016.

MATERIALES Y METODOS

Los estimados de emisiones son normalmente reunidos en bases de datos denominadas “inventarios de emisiones”. Constituyen un listado de las emisiones de contaminantes por fuentes emisoras o categorías de fuentes, compilado para un área geográfica establecida y para un intervalo de tiempo específico ([López, 2006](#)).

Entre las principales iniciativas y metodologías para la preparación de inventarios de emisiones de contaminantes a la atmósfera que han tenido un mayor uso y aplicación internacional pueden señalarse las siguientes:

- [U.S. EPA. Documento \(AP-42, 1995\)](#) y [U.S. EPA., \(1997\)](#).
- Programa EMEP/CORINAIR. Agencia Europea de Medio Ambiente ([EEA, 1996](#) y [2007](#)).
- Mediciones de las emisiones in situ.

En Cuba, para la realización de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos a escala local, se siguen los procedimientos reflejados en la [NC 1049:2014](#), la cual establece los datos tecnológicos, que se han de tener en cuenta, para la realización de inventario de emisiones, generadas por fuentes puntuales industriales.

En la zona de estudio los principales contaminantes emitidos a la atmósfera son producto de las actividades generadoras de la energía, los procesos industriales y otras actividades económicas del territorio ([Cuesta, O., et al., 2013](#) y [2017](#); [Fonte, A., et al., 2017](#) y [Marrero, Y., et al., 2018](#)). Esos son Dióxido de

Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO₂ y NO), Monóxido de Carbono (CO) y el Material Particulado menor o igual de 10 y 2,5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2,5}) y los Compuestos Orgánicos Volátiles diferentes del Metano (COVDM).

Por otro lado, se utiliza para conocer el comportamiento temporal y espacial de la dispersión de los contaminantes atmosféricos estudiados el sistema de modelos AERMOD, además del módulo principal, AERMOD, contiene 2 pre-procesadores: AERMAP para la topografía y AERMET para la información meteorológica y 2 componentes BPIP-PRIME, que procesa los datos de obstáculos cercanos a los puntos de emisión que pueden interferir en el desarrollo de la pluma ([González, Y., 2016](#); [Cuesta, O., et al., 2018](#)).

Para evaluar el nivel de contaminación atmosférica se utilizó el índice de calidad del aire (ICA), como aparece en la [NC 111:2004](#) equivalente al cociente de la concentración determinada para el contaminante y la concentración máxima admisible (Cma). En nuestro caso se evaluará diferentes contaminantes por lo tanto se determina el ICA como el mayor de los subíndices obtenidos ([Cuesta, O., et al., 2018](#)).

Como valores de referencia, para comparar las concentraciones de los contaminantes se utilizaron los valores de concentración máxima admisible (Cma) establecidos en la Norma Cubana [NC 1020:2014](#) que se muestran en la [Tabla 2](#).

A partir de la modelación de la dispersión de los contaminantes en los plazos horarios y diarios, en el presente trabajo se tomará en cuenta las concentraciones máximas admisibles (Cma) de los contaminantes estudiados para identificar la frecuencia de valores que exceden esta Cma y también para identificar el índice de calidad del aire de forma espacial y temporal tomando como base el año 2016.

De este modo, el inventario de emisiones y la modelación de la dispersión de los contaminantes principales aplicados en el estudio de la calidad del aire en La Habana es una valiosa contribución a la gestión de la calidad del aire. También este nuevo conocimiento debe ser empleado por las autoridades empresariales y ambientales para aplicar adecuadamente medidas de reducción de emisiones a la atmosfera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del inventario de emisiones

El inventario de emisiones realizado en las principales fuentes fijas de la ciudad de La Habana para el año 2016, se muestra en la [Tabla 3](#), donde se aprecian las emisiones a la atmósfera en ton/año de los principales contaminantes atmosféricos que provocan diversos impactos a la salud humana, los ecosistemas terrestres y acuáticos.

El contaminante que más se emite a la atmósfera es el SO₂, seguido del NO₂, mientras que el CO ocupa el tercer lugar entre las emisiones. Por lo tanto los compuestos gaseosos derivados de la quema de los combustibles fósiles son los principales contaminantes emitidos por las fuentes fijas de La Habana.

También apreciamos en la tabla que la fuente más potente en la ciudad es la Refinería Níco López, ubicada en el municipio Regla como se muestra en la [Figura 3](#), donde aparecen las fuentes principales del área de estudio.

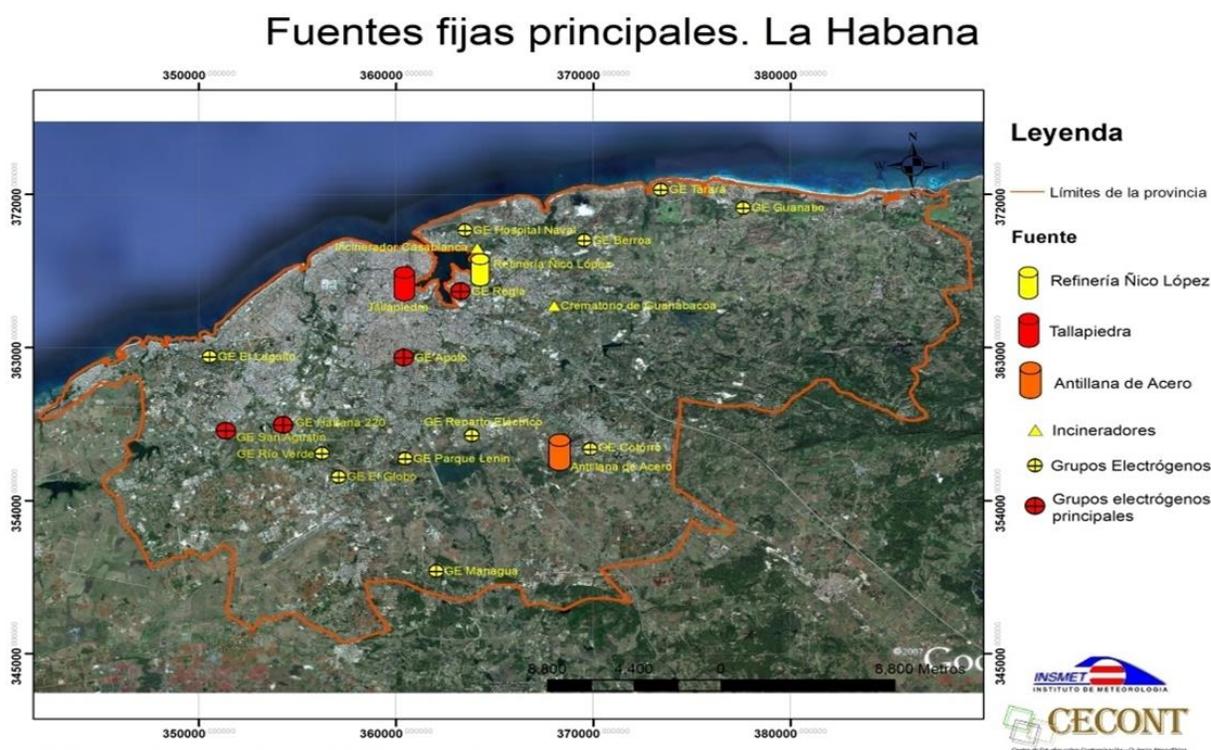
Por otro lado se debe señalar que la Antillana de Acero es la fuente fija que mayor cantidad de Material Particulado emite a la atmósfera. Estas dos importantes fuentes de La Habana tienen un peso fundamental en el deterioro de la calidad del aire, por lo tanto deben ser priorizadas en todas las actividades regulatorias y de gestión ambiental que se programen en el territorio. Estas dos industrias

Tabla 2. Períodos de modelación y valores de referencia

Contaminante	Período	Cma [µg/m ³]	Período	Cma [µg/m ³]	Período	Cma [µg/m ³]
SO ₂	1 hora	250	24 horas	45	anual	40
NO ₂	1 hora	160	24 horas	40	anual	35
PM ₁₀	1 hora	200	24 horas	50	anual	30
PM _{2.5}	1 hora	100	24 horas	25	anual	15

Tabla 3. Emisiones por fuentes de los contaminantes principales de La Habana año base 2016, en Toneladas al año (Ton/Año).

TIPOS FUENTES	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
Termoeléctricas	574,6	2927,3	32,5	16,3	87,6	5,9
Grupos electrógenos régimen base	1612,9	1249,8	83,9	41,9	29,4	2,6
Grupos electrógenos emergencias	794,6	547,4	8,6	4,3	49,3	6,2
Calderas	3979,9	6869,9	170,5	112,7	351,2	41,2
Hornos e incineradores	285,7	2391,9	122,1	91,8	30,5	2,1
Antillana de Acero	119,8	1684,4	1621,4	810,7	2335,4	5,3
Refinería	5110,1	14438,1	435,8	217,9	4724,1	97,8
Total	12477,6	30108,8	2474,8	1295,6	7608,2	161,7



Elaborado a partir de una imagen satelital del Google Earth
 Proyección Cónica Conforme de Lambert Cuba-Norte
 Fecha de confección: 2 de octubre de 2012

Figura 3. Fuentes fijas industriales principales de La Habana.

están identificadas por el CITMA de la ciudad en su Estrategia Ambiental La Habana 2016 - 2020, por su contribución al deterioro de la calidad del aire.

En los estudios realizados sobre el impacto de las emisiones a la atmósfera de estas fuentes (Cuesta et al., 2009; 2010; 2012 y Batule, 2012), muestran que la ubicación de estas fuentes al este de los principales núcleos poblacionales de la ciudad provocan que las condiciones

meteorológicas que más ocurren favorezcan la incidencia de estas emisiones. También condiciones de alta estabilidad atmosférica y poca dispersión en horas de la madrugada y la mañana provocan gran acumulación de contaminantes.

Al analizar las emisiones a la atmósfera provocadas por los 15 municipios de La Habana durante el 2016 (Tabla 4), se pueden apreciar que el mayor emisor de los compuestos gaseosos es el municipio Regla, ratificando la información

Tabla 4. Emisiones de los contaminantes atmosféricos principales de los municipios de La Habana durante el 2016, en Toneladas al año (Ton/Año).

TIPOS FUENTES	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
Playa	127,12	211,19	3,79	2,34	11,21	1,34
Plaza	15,09	179,97	4,30	3,15	2,20	0,17
Centro H.	4,10	54,60	1,75	1,31	0,44	0,03
H. Vieja	574,99	2932,09	32,56	16,32	87,68	5,88
Regla	5899,37	18179,32	633,31	354,75	4773,18	100,88
H. del Este	2113,60	2090,28	33,52	17,39	179,42	22,37
Guanabacoa	8,22	97,34	2,26	1,68	0,99	0,07
San Miguel	2,73	30,96	1,21	0,91	0,31	0,02
10 de Octubre	68,04	95,33	3,11	2,30	1,50	0,12
Cerro	15,30	183,24	5,51	4,12	1,91	0,14
Marianao	733,45	727,00	38,78	19,51	11,37	1,37
La Lisa	529,88	953,58	35,84	25,74	30,70	2,60
Boyeros	1338,15	1441,00	26,87	15,27	114,10	14,12
Arroyo	715,95	696,96	12,14	6,84	52,86	6,50
Cotorro	331,64	2235,88	1639,85	823,92	2340,36	6,10
TOTAL	12477,6	30108,8	2474,8	1295,6	7608,2	161,7

preexistente cualitativa reflejada en diversos trabajos ([Geo La Habana, 2004](#); [Geo Cuba, 2009](#)). En el nivel de emisiones del SO₂ le continúan Habana Vieja y el Cotorro y este último municipio se ratifica como el mayor emisor de partículas al aire. Como grandes emisores de SO₂ le siguen los municipios de La Lisa, Habana del Este y el Cerro.

Por otro lado se destacan como grandes emisores de NO₂ los municipios de Regla, Habana Vieja, Habana del Este, Cotorro y Marianao. Como emisores de polvo, además del ya mencionado municipio del cotorro, sobresalen Regla, Habana Vieja y La Lisa. El CO y los COVDM también presentan similares comportamientos por municipios.

Por otro lado se destacan como grandes emisores de NO₂ los municipios de Regla, Habana del Este, Boyeros y Marianao, como se aprecia en la [Figura 4](#). Por la presencia de fuentes que emiten este contaminante como la refinería y los grupos electrógenos.

Para el caso de las emisiones de SO₂ se destacan como grandes emisores los municipios de Regla, Habana Vieja, Habana del Este y Cotorro, como se aprecia en la [Figura 5](#). Por la presencia de fuentes

que emiten este contaminante como la refinería y la termoeléctrica.

Como emisores de polvo sobresale el municipio del Cotorro, también destacan Regla, Habana Vieja y La Lisa, esto se muestra en la [Figura 6](#). El CO y los COVDM también presentan similares comportamientos por municipios.

Características de la dispersión de los contaminantes

La zona de estudio abarca la ciudad de La Habana y se encuentra limitada entre los 22° 55' 33,33" y 23° 12' 3,15" de latitud Norte y los 82° 32' 26,69" y 82° 3' 12,29" de longitud Oeste. En la [Figura 7](#) se observa la distribución espacial de las principales fuentes estacionarias emisoras de sustancias contaminantes en la ciudad de La Habana.

La información meteorológica que se utilizó en este trabajo fue de la estación meteorológica de Casa Blanca. La misma está ubicada al suroeste de la ciudad y sus coordenadas geográficas son, Latitud: 23° 08' 35" N, Longitud: 82° 20' 30" W, Elevación: 50.

Los valores de las concentraciones se calcularon en receptores distribuidos por toda la zona de

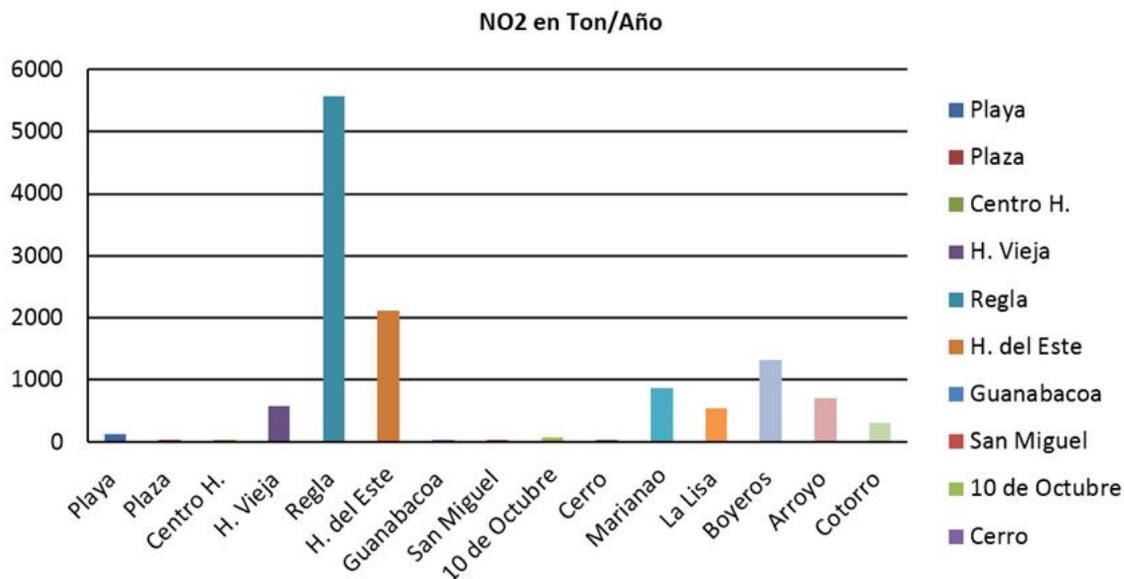


Figura 4. Emisiones de NO₂ por municipios.

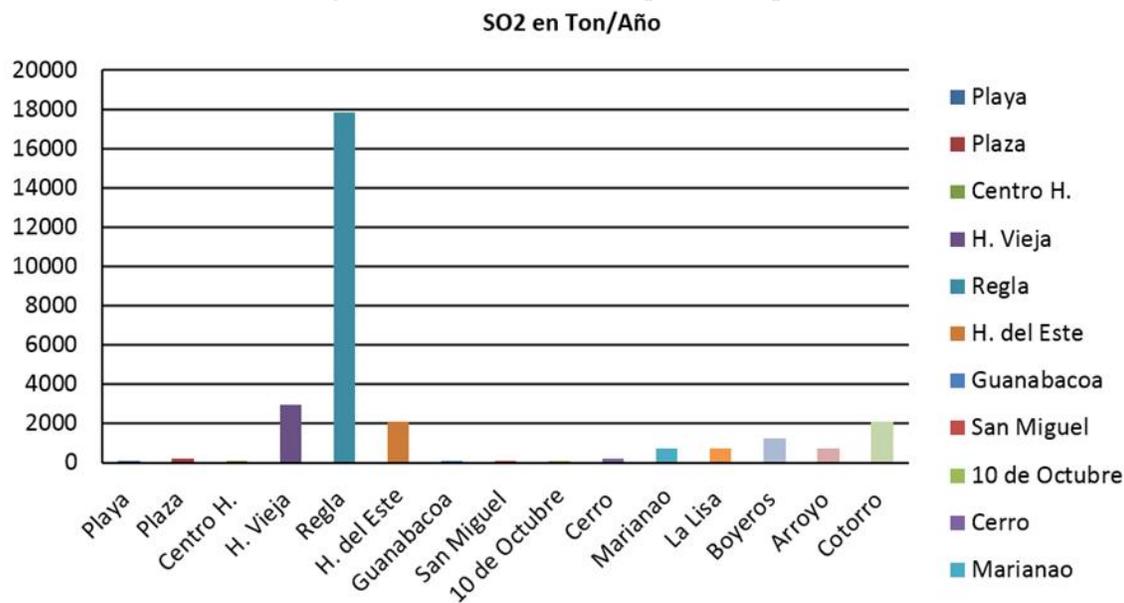


Figura 5. Emisiones de SO₂ por municipios.

estudio de forma regular a 500 metros de separación, para de esta forma obtener la distribución espacial de los valores de concentraciones para cada uno de los contaminantes analizados en este estudio. En la Figura 8 se muestra la rejilla de dimensiones 50 x 30 Km y con 6161 receptores, distribuidos 101 x 61 (NC: 1059. 2014; González, Y., 2016).

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos de la modelación de la dispersión de contaminantes en La Habana,

teniendo en cuenta las emisiones de las principales fuentes fijas. En la Figura 9, se muestra el mapa del promedio de las concentraciones anuales durante el 2016, para el NO₂. Los valores de concentraciones anuales para el NO₂ superan las Cma, para este período. Las zonas más comprometidas con el deterioro de la calidad del aire se encuentran alrededor de la bahía de La Habana producto de la refinería de petróleo (Preval, E., 2012), el grupo electrógeno de Regla y de la central termoeléctrica de Tallapiedra (Cremata, L., 2018). Otras zonas se

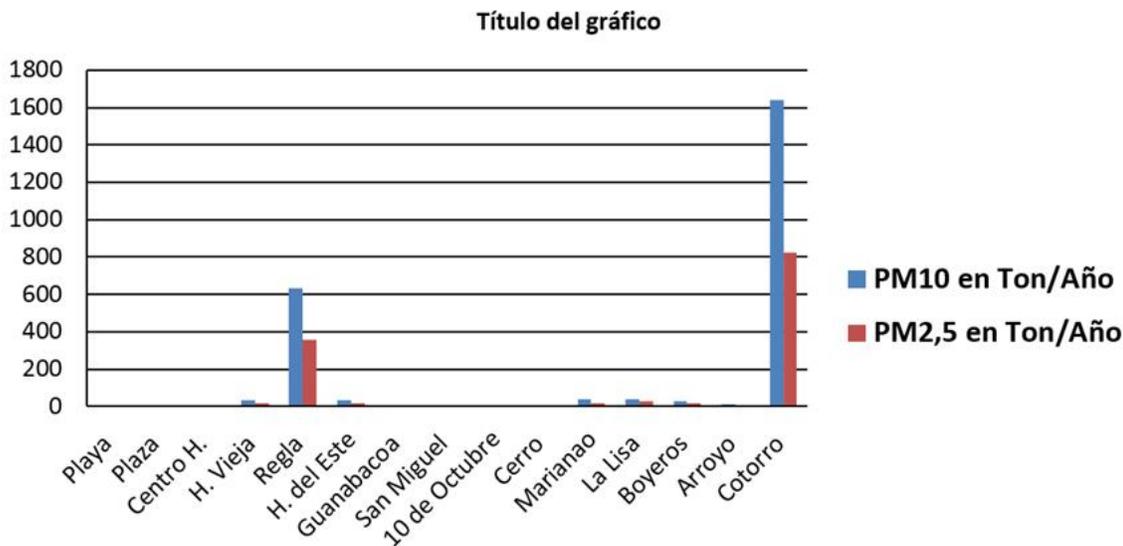


Figura 6. Emisiones de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) por municipios.



Figura 7. Ubicación de las principales fuentes fijas de La Habana.

encuentran asociadas a los grupos electrógenos de generación continua, situados en Arroyo Apolo, en las cercanías de la CUJAE y La Lisa.

En la [Figura 10](#) se muestra el mapa del promedio de las concentraciones anuales para el año 2016 del SO₂. Los valores de estas concentraciones anuales, superan las Cma, para este período. Su comportamiento es similar al del contaminante NO₂ debido al mismo origen de las fuentes.

En la [Figura 11](#) se muestra el mapa del promedio de las concentraciones anuales durante el 2016 para

el PM₁₀. Los valores de concentraciones anuales para el PM₁₀ superan las Cma, para este período. La zona más comprometida se encuentra alrededor de la Antillana de Acero, principalmente a sotavento de la chimenea.

En el caso del SO₂, y NO₂, la zona comprendida entre los Grupos Electrógenos ubicados en el centro de la ciudad sobresale como la de peores condiciones. En el caso del material particulado, es alrededor de la Antillana de Acero donde

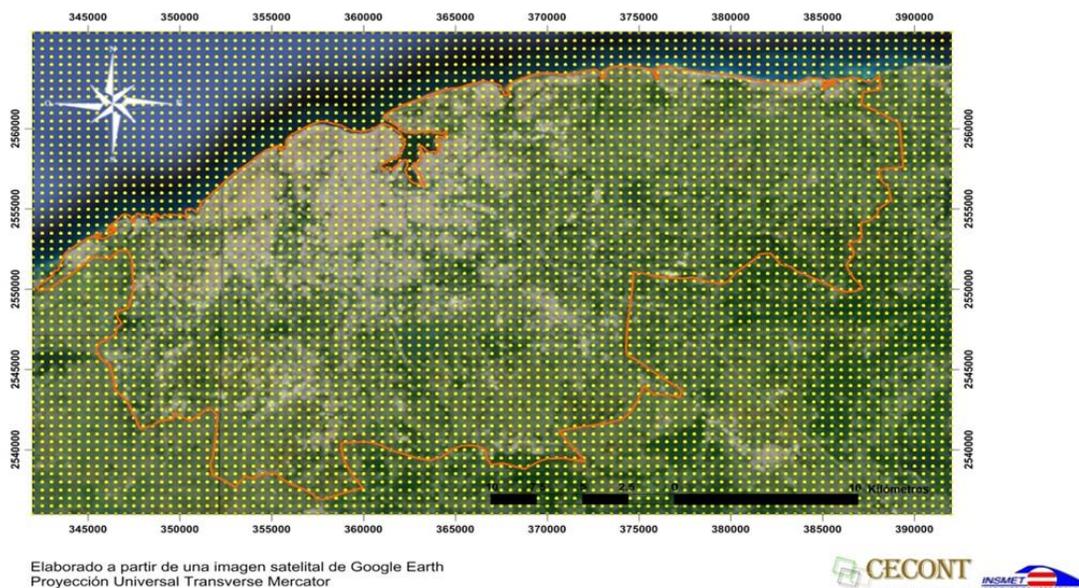


Figura 8. Rejilla del dominio de modelación y distribución de receptores.

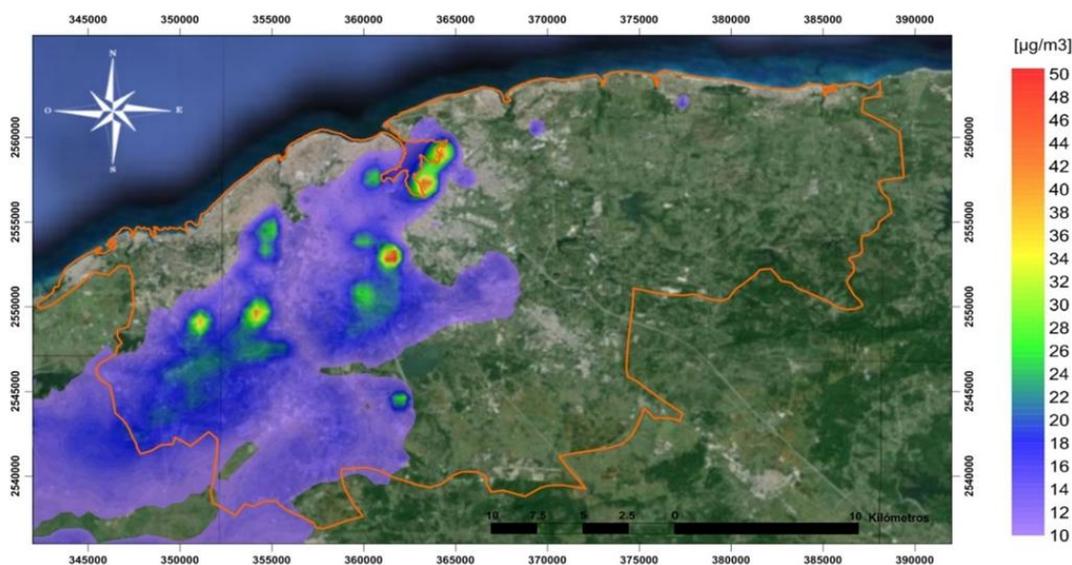


Figura 9. Distribución espacial de las concentraciones anuales de NO_2 , en La Habana, año 2016.

encontramos los receptores que alcanzan los mayores valores de concentración.

En la mayoría de estos casos las condiciones meteorológicas son la causa fundamental que propicia la ocurrencia de estos valores extremos. Ello obedece a situaciones como las que se presentan en la madrugada y al amanecer con inversión térmica en las capas bajas de la atmósfera, con altura de capa de mezcla baja y relativa calma del viento, evitando que los contaminantes se dispersen y provocando que aumenten las concentraciones hasta tales valores,

que en la mayoría de los casos superan las Cma correspondiente varias veces (Vidal, I., et al., 2018).

En la [Tabla 5](#) se puede observar la cantidad de receptores, por rango de veces y el porcentaje que representa respecto al total de evaluaciones por días al año. El caso más significativo es el del NO_2 , que tiene más del 52% de días con valores que superan la Cma.

En la [Tabla 6](#) se puede apreciar que en caso del NO_2 ocurre una afectación del 84% de los receptores, donde se superan en reiteradas

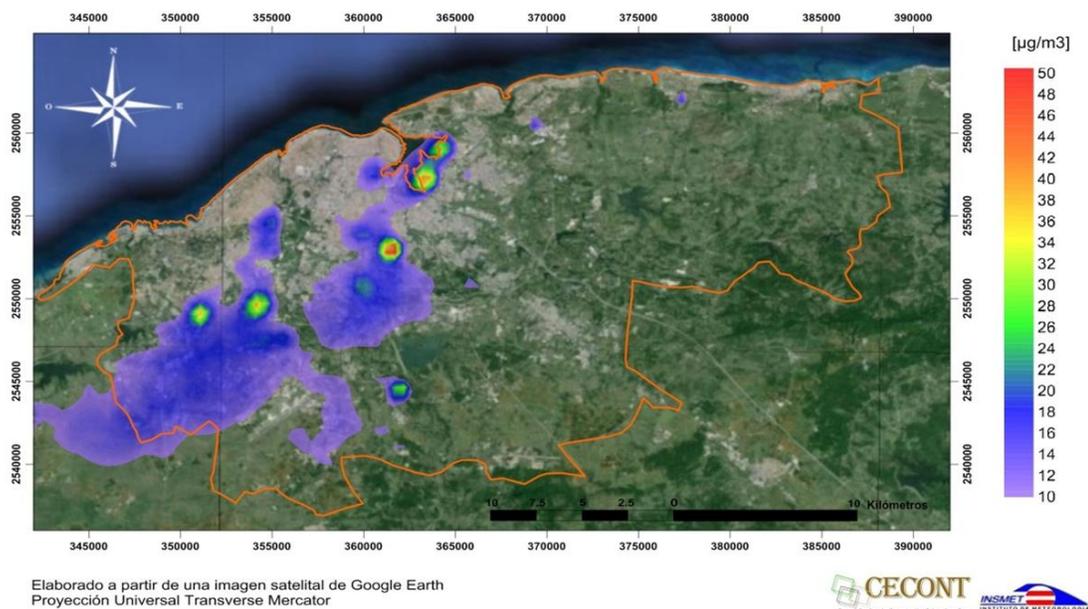


Figura 10. Distribución espacial de las concentraciones anuales de SO₂ en La Habana, año 2016.



Figura 11. Distribución espacial de las concentraciones anuales de PM₁₀, en La Habana, año 2016.

ocasiones los valores de la Cma. Para el caso del SO₂ la afectación es en poco más de la mitad de los receptores, siendo mucho más baja para el PM₁₀ y PM_{2.5}. Este comportamiento es prácticamente el mismo que para los valores diarios que superan la Cma. Sobresale el NO₂, con una afectación en aproximadamente la mitad de los receptores distribuidos para el estudio, en reiterados días del año.

En la [Figura 12](#) se presenta el mapa del índice de calidad del aire para las concentraciones anuales

promedio en el 2016. La distribución espacial del ICA, nos permite apreciar que las zonas más comprometidas están alrededor de la Refinería Níco López y la Antillana de Acero. De igual forma las zonas aledañas a los Grupos Electrónicos de régimen permanente, sobresaliendo el Apolo debido en gran medida a que las chimeneas se mantienen a una altura de 15 metros, cuando el resto de los Grupos Electrónicos subieron sus chimeneas hasta 37 metros. En todos los casos la categoría que se alcanza es la de

Tabla 5. Frecuencia con que los receptores superan la Cma para valores diarios al año. Ciudad de La Habana, año 2016.

Veces que se supera la Cma	Receptores por contaminantes			
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
>150	0	3	0	0
100-149	1	15	1	1
50-99	14	158	2	2
25-49	57	461	5	5
1-24	2196	2584	319	319
Total de receptores afectados	2268	3221	327	327
%	36,8	52,3	5,3	5,3

Tabla 6. Frecuencia con que los receptores superan la Cma para valores horarios al año. Ciudad de La Habana, año 2016

Veces que se supera la Cma	Receptores por contaminantes			
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
>3000	0	0	0	0
1000-2999	0	1	0	0
500-999	1	14	1	1
250-499	3	94	2	2
100-249	32	152	9	9
50-99	234	471	23	23
25-49	389	576	56	56
1-24	2617	3868	787	787
Total de receptores afectados	3276	5176	878	878
%	53,2	84,0	14,3	14,3

deficiente. Es preciso señalar que aunque la categoría que se alcanza como promedio en estos años es la deficiente, en algunas situaciones se pudiera alcanzar una categoría entre mala y pésima e incluso llegar a crítica, puesto que al promediar los valores más elevados de concentraciones se suavizan.

Para una mejor visualización del índice de calidad del aire, el mismo debe efectuarse para valores horarios y diarios los cuales dan desde el punto de vista espacial una visión más clara de las afectaciones.

Otro aspecto de interés es la obtención de un pronóstico de dispersión de contaminantes que se encuentra operativo¹ y disponible para todo el servicio meteorológico nacional, una aplicación

web dentro del Sistema de Predicción Numérico Océano-Atmósfera (SPNOA) desarrollado en el Centro de Física de la Atmósfera (CFA) del Instituto de Meteorología. A continuación le mostramos la apariencia del sitio web donde se encuentran las salidas del pronóstico de dispersión de contaminantes (Figura 13).

Actualmente se realizan simulaciones con AERMOD, hasta plazos de 72 horas utilizando como inicialización las salidas del modelo WRF (Weather Research and Forecasting). La puesta en marcha de este servicio que actualmente se encuentra disponible para toda la red del servicio meteorológico.

¹Disponible en <http://spnoa.insmet.cu/spnoa/contaminacion.html>



Figura 12. Distribución espacial del índice de calidad del aire (ICA), para los promedios anuales de concentraciones de los contaminantes durante el 2016

SPNOA
Centro de Física de la Atmósfera - Instituto de Meteorología

Sistema de Predicción Numérica Océano-Atmósfera

Modelo AERMOD implementado en el Centro de Contaminación y Química Atmosférica del Instituto de Meteorología utilizando como forzamiento el modelo WRF, sugerencias, dudas, comentarios contacte directamente con: yosdany.gonzalez@insmet.cu.

Seleccione el Lugar: -- Lugar --
Seleccione la corrida: Ultima Corrida

Seleccione el Contaminante: --Contaminantes--
Mostrar

Contenido:
Inicio
Contacto

Modelo WRF:
Dominio1 --> 18KM
Dominio2 --> 6KM
Cuba --> Occidente
Cuba --> Centro
Cuba --> Oriente
Meteogramas
Parques Eólicos
Sondeos Gráficos
Sondeos Numéricos
Radiación Solar
Contaminación AERMOD
Modelos WW3 y SWAN
Oleaje 6KM y 1.5KM
Modelo ROMS
Cuba 3KM

Todos los Derechos Reservados | Instituto de Meteorología 2013 | Centro de Física de la Atmósfera | alexis.perez@insmet.cu

Figura 13. Sitio web del SPNOA, donde se encuentran las salidas del pronóstico de dispersión de contaminantes.

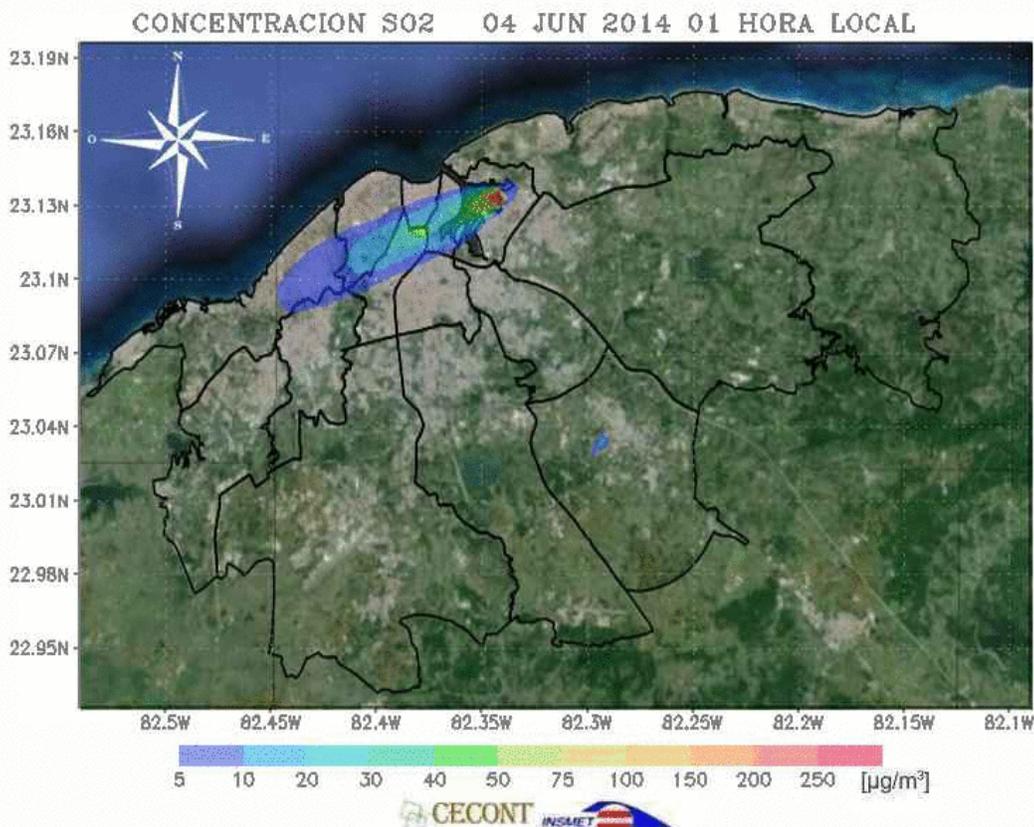


Figura 14. Corrida de la dispersión del SO_2 para el día 04/06/2014 para las 01:00 hora.

En la [Figura 14](#) se muestra la salida de este pronóstico de dispersión de contaminante (SO_2) para la ciudad de La Habana, para el día 4 de junio del 2014 a la una de la mañana. Se destaca la emisión desde la refinería, fuente de trabajo continuo y la más potente de este contaminante en la ciudad. Otras fuentes no trabajan de forma continua y por lo general trabajan en horas diurnas, por lo tanto no se aprecian en esta corrida.

El trabajo operativo de este pronóstico muestra en detalle las emisiones de las diversas fuentes en dependencia de sus horarios de trabajo y la intensidad de sus emisiones. También se reflejan la influencia de las variables meteorológicas según los horarios del día y sobre todo el cambio del rumbo del viento.

Por lo tanto, los inventarios de emisiones y la modelación de la dispersión de los contaminantes principales desarrollados es una valiosa contribución a la gestión de la calidad del aire. **El Inventario** : Permite determinar ante todo las mayores fuentes de emisiones de cada

contaminante por, municipio y fuente. A partir de la información tecnológica entre otras, de cada una de estas fuentes se puede aplicar todas estas medidas generales de reducción, pero de forma más específica en una de las industrias estudiadas. **La Modelación** : Permite determinar no solamente la distribución promedio de la dispersión de varios contaminantes sino las zonas con mayor deterioro de la calidad del aire con valores superiores a la Cma y la distribución temporal de estas concentraciones.

Por tanto, este trabajo ([Bolufé, J., et al., 2016](#); [Rivero, A., et al., 2016](#) y [Bolufe, J., 2017](#)), permite estudiar el posible impacto potencial de la contaminación atmosférica sobre la salud humana, en especial ciertas enfermedades en ciertos lugares en ciertas épocas del año al considerar estos efectos a las condiciones meteorológicas o climáticas.

Por otro lado el conocimiento del inventario de emisiones contribuye evaluación de riesgos para la salud humana y la vegetación por los contaminantes atmosféricos principales ([López, R.](#)

[et al., 2018](#)), estos nuevos conocimientos son de gran utilidad para las autoridades ambientales para conocer desde un enfoque de riesgo, el estado de la calidad del aire y los potenciales efectos a los que se exponen los habitantes y la vegetación. También son de interés para las actividades de ordenamiento territorial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el Inventario de emisiones de las principales fuentes fijas de la provincia de La Habana para el año 2016, se puede apreciar la emisión a la atmósfera de más de 30 mil toneladas de SO₂. Mientras que para el NO₂ se emiten alrededor 12300 toneladas al año. El Material Particulado menor de 10 micrones y potencialmente dañino a la salud humana alcanza más de 2300 toneladas al año.

Los municipios Regla y Habana Vieja son los máximos emisores de contaminantes gaseosos (SO₂, NO₂, CO y COVDM) a la atmósfera de La Habana. Mientras que el Cotorro es el mayor emisor de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}).

La Refinería Níco López, la Termoeléctrica de Tallapiedra y la Antillana de Acero son las industrias que más contaminantes emiten a la atmósfera y sobre las cuales se deben mantener medidas de control y regulación ambiental para mitigar las emisiones. Además de implementar planes de reducción de emisiones a través de mejoras tecnológicas.

Una gran cantidad de las fuentes fijas de los municipios de La Habana no cumplen con las normas de calidad del aire respecto al radio mínimo de protección que debe existir entre las fuentes y la zona de viviendas. Los procesos de combustión de muchos establecimientos deben mejorar su eficiencia y la calidad del combustible con el fin de reducir las emisiones a la atmósfera.

Este inventario de emisiones es una nueva herramienta con las que deben contar las autoridades ambientales, para su trabajo local. Se recomienda la actualización anual del inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera de la ciudad con la contribución de todos los organismos

interesados en la protección del medio ambiente y lograr un sistema informativo adecuado y estable para obtener información confiable.

La modelación de la dispersión de los contaminantes principales utilizando el sistema de modelación AERMOD permitió conocer que: El dióxido de nitrógeno (NO₂), el dióxido de azufre (SO₂), así como el material particulado (PM_{2,5} y PM₁₀) son las sustancias causantes del incumplimiento de los requisitos higiénico-sanitarios del aire, al superar las concentraciones máximas admisibles (Cma) establecidas en la [NC 1020:2014](#), para períodos de tiempo de una hora y para valores diarios fundamentalmente, en todos los municipios estudiados, mientras las concentraciones de monóxido de carbono (CO) no superan las concentraciones máximas admisibles (Cma).

Se identificaron las fuentes que mayor aporte tienen en las zonas aledañas a estas fuentes es donde la calidad del aire se encuentra deteriorada. Esta situación implica un ligero incremento en la frecuencia y severidad de los efectos adversos agudos y crónicos en la población general y principalmente en personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y alérgicas y en otras de elevada susceptibilidad.

Este trabajo reviste una gran importancia, pues ofrece resultados muy útiles para las autoridades encargadas de tomar medidas para la protección de la población y el medio ambiente. La forma sencilla de presentar los resultados, garantiza que los usuarios de estos estudios, asimilen mejor esta información.

Por lo tanto, los inventarios de emisiones y la modelación de la dispersión de los contaminantes principales realizados es una valiosa contribución a la gestión de la calidad del aire. También este nuevo conocimiento debe ser empleado por las autoridades empresariales y ambientales para aplicar adecuadamente las medidas de mitigación de las emisiones. La Habana en sus 500 años de fundada merece un aire limpio para que respiremos los actuales y futuros pobladores.

REFERENCIAS

- Batule, L., (2012): Modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por la Antillana de Acero. Estudio de caso: Cotorro. Tesis de Diploma para el título de Licenciado en Geografía. Pp. 144, Universidad de La Habana, MES, La Habana.
- Bolufé, J., et al (2016): Efectos del clima y la calidad del aire en las Crisis Aguda de Asma Bronquial en la región Occidental de Cuba. Resultado científico, Instituto de Meteorología, La Habana.
- Bolufé Torres, Javier (2017): Influencia del medio ambiente atmosférico sobre las crisis agudas de asma bronquial en La Habana. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, UH. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Ciencias Meteorológicas.
- Cuesta, O., Collazo, A., Wallo, A., Sánchez, P., Labrador, R. (2002): Utilización de un índice de calidad del aire (ICA) en Asentamientos humanos. Resultados preliminares. *Revista Cubana de Meteorología Vol.9 No. 2.*
- Cuesta, O., y Wallo, A. (2009): Algunos aspectos del estado de la contaminación atmosférica a nivel local y regional en Cuba. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-304-003-7, Memorias de la Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Ciudad de la Habana, 6 - 10 de Julio de 2009.
- Cuesta, O., Wallo, A, Montes de Oca, L., Pierra, A., Tricio, V. (2010): Calidad del aire en zonas urbanas de Cuba. CONAMA 11. Congreso de Medio Ambiente, España 2010. <http://www.conama10.es/web/index.php>
- Cuesta, Osvaldo; Mariam Fonseca; Raydel Manrique y Ernesto Carrillo. (2012): Evaluación de la calidad del aire en ciudades de Cuba. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-282-079-1, Memorias de la Convención Internacional Trópico 2012, La Habana, 14 - 18 de Mayo de 2012.
- Cuesta-Santos, Osvaldo; Arnaldo Collazo, Yosdany González, Ernesto Carrillo, Carlos Sosa, Raydel Manrique, Pedro Sánchez, Adriana Valdés, Ricardo Manso, Lázaro Batule, Rosemary López y Mariam Fonseca (2013): Caracterización de la calidad del aire en la Habana mediante el análisis del inventario de emisiones de fuentes fijas. Publicación electrónica en las memorias del VII Congreso Cubano de Meteorología. La Habana, Cuba. ISBN 978-959-7167-43-3
- Cuesta Santos, Osvaldo, MSc. Arnaldo Collazo Aranda, MSc. Pedro Sánchez Navarro, MSc. Raydel Manrique Suárez, Lic. Mariam Fonseca Hernández, Lic. Dagoberto Rodríguez Valdés, MSc. Almara Sánchez Díaz, MSc. María Victoria Miló López, Dr. Juan M. Díaz Díaz, MSc. Alfredo Victorero Hernández, Lic. Yosdany González Jaime, Lic. Carlos Sosa Pérez (2014): *Calidad del aire en la ciudad de Pinar del Río. Valores experimentales.* Revista Cubana de Meteorología, Vol. 20 No. 2, 2014.
- Cuesta-Santos, Osvaldo; Arnaldo Collazo-Aranda; Yosdany González-Jaime and Carlos Sosa-Pérez (2015): Impacts of emissions from Havana's stationary sources. Cuban Meteorological Institute, Havana, Cuba. 17th GEIA Conference. Influence of Urbanization on Emissions Worldwide, 18-20 November 2015, Tsinghua University, Beijing, China.
- Cuesta Santos, Osvaldo; Carlos Sosa; Caridad Iraola; Yosdany González; Vladimir Núñez, Aramis Fonte, Caridad Imbert, Sinaí Barcia, Yanssel Gómez, Dianelis Portal (2017): Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 23 No. 2. ISSN: 2664-0880. (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Cuesta, O., et al., 2018: Emisiones de contaminantes provenientes de fuentes fijas y su contribución a la contaminación atmosférica. Informe Científico Técnico, Instituto de Meteorología, pp 163.
- Cremata Zaldivar, Laura (2018): Evaluación económica - ambiental de sistemas de captura de gases en pequeñas centrales termoeléctricas.

- Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, UH. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Ciencias de la Gestión Ambiental.
- EMEP/CORINAIR (1996): Atmospheric emission inventory guidebook, Vol I and II. European Environment Agency. Copenhagen.
- EMEP/CORINAIR (2007). Guía para la realización del inventario de emisiones atmosféricas de la Agencia Europea de Medioambiente.
- Fonte Aramis, Osvaldo Cuesta, Carlos Sosa (2017): Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas en la provincia de Camagüey desde fuentes fijas. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 23 No. 1. ISSN: 2664-0880 (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- González Jaime, Yosdany (2016): Pronóstico de dispersión de contaminantes atmosféricos a escala local utilizando el sistema de modelos AERMOD. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, UH. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Ciencias Meteorológicas.
- López, C. (2006): Introducción a la Gestión de la Calidad del Aire. Versión electrónica. Registro de Derecho de Autor No: 583 - 2007. INSMET, Centro de Química y Contaminación Atmosférica, Ciudad de la Habana.
- López, R. et al., (2018): Evaluación de riesgos para la salud humana y la vegetación por los contaminantes atmosféricos SO₂, NO₂, MP 10 y O₃ en áreas de Cuba. Resultado científico, Instituto de Meteorología, La Habana, pp. 118.
- Marrero Díaz, Joell; Cuesta Santos, Osvaldo y Suarez Benítez, Miguel (2018): Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de Holguín - Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 24, No. 3, pp. 268 - 277, 2018, ISSN: 2664-0880. (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Molina Esquivel, E. L. Brown Colás, V. Prieto Díaz, L. Cuellar Luna y D. Rodríguez Sordía. (2001): Contaminación atmosférica y prevalencia de asma en Centro Habana. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.* v.39 n.1 Ciudad de la Habana ene.-abr. 2001.
- NC: 111. 2004. Calidad del Aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- NC: 1020 (2014): Calidad del aire - Contaminantes - Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- NC: 1049. 2014. Guía de datos tecnológicos para inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- NC: 1059. 2014. Calidad del aire - Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes fijas., (Anexo 3). Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- Preval, E (2012): Estimación y modelación de las emisiones generadas en las calderas de la Refinería Níco López. Tesis de Diploma para el título de Ingeniero Químico. Pp. 66, Universidad de La Habana, MES, La Habana.
- PNUMA (2004): Geociudades - La Habana, Coautor, La Habana, 2005. Situación Ambiental de Cuba 2004.
- PNUMA (2009): GEO Cuba 2007. Evaluación del Medio Ambiente cubano, pp. 293, La Habana. Autores: Cuesta, O; Sánchez, P; López, C; Pérez, R; Marín, M; Biart, R; y Villarroel, J. (2009): Estado de la Contaminación Atmosférica en Cuba. En GEO CUBA. Evaluación del medio ambiente cubano. ISBN 978-959-300-002-4, La Habana, 2009.
- Rivero, A., et al., (2016): Efectos del clima y la calidad del aire en la insuficiencia cardiaca en la región occidental de Cuba. Resultado científico, Instituto de Meteorología, La Habana.
- Romero-Placeres, M. P. Más-Bermejo, M. Lacasaña-Navarro, M. Téllez Rojo-Solís, J.

- Aguilar-Valdés, I. Romieu (2004): Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. Salud pública de México / vol.46, no.3, mayo-junio de 2004.
- U.S. EPA (1995): *Compilation of air pollutant emission factors, volume I: Stationary point and area sources, fifth edition, AP-42. US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, Carolina del Norte.*
- U.S. EPA (1997): The Values of QA/QC. Final Report. Emission Inventory Improvement Program. Eastern Research Group, North Carolina, Research Triangle Park, 16 pp.
- Suarez Tamayo, S. G. Maldonado Cantillo, N. Cañas Ávila y M. Romero Placeres (2010): Contribución de la contaminación atmosférica a la ocurrencia de enfermedades respiratorias agudas en menores de 15 años. Ciudad de La Habana, 2001-2003. Revista Higiene y Sanidad Ambiental, 10: 635-644 (2010).
- Vidal Ros, Ivet; López Lee, Rosemary; Cuesta Santos, Osvaldo; Bolufé Torres, Javier y García Valdés, Evelio (2018): Condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 24, No. 2, pp. 146 - 158, 2018, ISSN: 2664-0880. (P). Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Wallo, Antonio y Osvaldo Cuesta (2005): Métodos de pronóstico de la influencia de las condiciones ambientales sobre el Asma Bronquial. CD Memorias III Congreso Cubano de Meteorología, La Habana, 2005.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)